



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Revisión bibliográfica

***“Entrenamiento de fuerza para readaptación de
lesiones de ligamento cruzado anterior en la
rodilla”***

Autor: Carlos Gallardo López

Director: María Fernández Poyato

Curso académico: 5º Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y
Educación Primaria

Fecha: 21 de mayo de 2026

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA ELEGIDO	5
MARCO TEÓRICO	9
Anatomía y función del ligamento cruzado anterior	9
La lesión del LCA: mecanismo, incidencia y consecuencias	10
OBJETIVOS	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
MÉTODO	15
Registro y protocolo	15
Bases de datos	15
Estrategia de búsqueda.....	16
Modelo PICO.....	16
Ecuaciones de búsqueda.....	17
Selección de estudios.....	18
Extracción de datos.....	19
RESULTADOS/ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA	20
Diagrama de flujo	20
Descripción de los resultados.....	20
Resultados de los estudios	24
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	36
El proceso de readaptación del LCA: fases y objetivos	36
El entrenamiento de fuerza como eje de readaptación.....	37
Tipos de ejercicios: cadena cinética abierta vs cadena cinética cerrada.....	38
Entrenamiento neuromuscular y propiocepción	39
Biomecánica del movimiento y prevención de recaída	40
Consideraciones específicas por población.....	40
El papel de la evidencia en la readaptación: hacia una práctica basada en criterios.....	41
CONCLUSIONES	43
DISCUSIÓN	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo analizar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre el papel del entrenamiento de fuerza en la readaptación de lesiones de Ligamento Cruzado Anterior (LCA) de la rodilla. Para ello, se realizó una revisión sistemática siguiendo las recomendaciones de la guía PRISMA 2020. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos PubMed, Web of Science y Scopus, utilizando términos relacionados con LCA, entrenamiento de fuerza, entrenamiento neuromuscular, rehabilitación y retorno al deporte. Se incluyeron estudios publicados entre 2015 y 2026, escritos en inglés o en español, centrados en deportistas o población físicamente activa en proceso de readaptación tras lesión con reconstrucción mediante cirugía de LCA. Finalmente, se seleccionaron 13 estudios cuyos resultados muestran evidencia sobre el entrenamiento de fuerza como un elemento esencial para recuperar la función muscular, reducir asimetrías y mejorar la estabilidad dinámica de la rodilla. No obstante, la evidencia también indica que la fuerza por sí sola no es suficiente, por lo que debe combinarse con entrenamiento neuromuscular, propiocepción, trabajo técnico de aterrizajes y cambios de dirección, y criterios objetivos de progresión. En conclusión, la readaptación de LCA debe entenderse como un proceso individualizado, progresivo y multifactorial, orientado no solo a volver al deporte, sino a hacerlo con garantías funcionales y reduciendo el riesgo de recaída.

Palabras clave: ligamento cruzado anterior; entrenamiento de fuerza; readaptación; entrenamiento neuromuscular; retorno al deporte.

ABSTRACT

This Degree Final Project aims to analyze and synthesize the available scientific evidence on the role of strength training in the rehabilitation process after anterior cruciate ligament (ACL) injuries of the knee. A systematic review was conducted following the PRISMA 2020 recommendations. The literature search was carried out in PubMed, Web of Science and Scopus, using terms related to ACL, strength training, neuromuscular training, rehabilitation and return to sport. Studies published between 2015 and 2026, written in English or Spanish, and focused on athletes or physically active populations undergoing rehabilitation after ACL

reconstruction by surgery. Finally, 13 studies were selected whose results provide evidence that strength training is an essential component for restoring muscle function, reducing asymmetries, and improving dynamic knee stability. However, the evidence also suggests that strength alone is not sufficient, and should therefore be combined with neuromuscular training, proprioceptive work, technical training for landing and change-of-direction tasks, and objective progression criteria. In conclusion, ACL rehabilitation should be understood as an individualized, progressive, and multifactorial process. Its final goal should not be limited to returning to sport, but rather to doing so with adequate functional, biomechanical, and psychological guarantees while reducing the risk of reinjury.

Keywords: anterior cruciate ligament; strength training; rehabilitation; neuromuscular training; return to sport.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA ELEGIDO

La elección del tema no responde solo a un interés académico, sino que nace de una experiencia personal directa y muy significativa. En el año 2024, estudiando ya este doble grado (Ciencias de la Actividad Física y el Deporte + Educación Primaria) sufrí una rotura de ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla derecha, lesión que me obligó a afrontar un proceso de recuperación que es largo, exigente y, en muchos momentos, desafiante. Más allá del dolor físico y de las limitaciones funcionales que conlleva este tipo de lesión, lo que más me impactó fue la incertidumbre: la falta de claridad sobre qué hacer en cada momento, cómo progresar de forma segura y cuándo realmente estaría preparado para volver a practicar deporte con garantías. Esta experiencia me hizo tomar conciencia de algo que la literatura científica también refleja: que una readaptación bien estructurada no es simplemente una cuestión de tiempo, sino de criterio, progresión y conocimiento.

Fue precisamente durante ese proceso cuando tomé la decisión de contactar con un profesional como David Bautista (a través de su empresa Baumovement), que cuenta con un equipo especializado en readaptación de lesiones de rodilla y mejora del rendimiento deportivo que opera bajo un enfoque biopsicosocial, integrando fisioterapia, entrenamiento de fuerza progresivo, psicología y nutrición. Su metodología, basada en criterios y fases de progresión (control, fuerza y estabilidad, retorno al impacto y al deporte) y no en plazos temporales arbitrarios, me permitió comprender de primera mano que la calidad de una readaptación depende directamente de la solidez del entrenamiento de fuerza que la sustenta. Esta experiencia no solo transformó mi forma de entender el proceso de recuperación, sino que redirigió mi interés académico y profesional hacia el estudio riguroso de los mecanismos, estrategias y evidencias que fundamentan la readaptación funcional en lesiones de este tipo. El presente TFG es, en ese sentido, la materialización académica de un recorrido personal que encontró en la ciencia su mejor respuesta.

Desde una perspectiva profesional, la lesión de LCA representa una de las patologías más prevalentes y limitantes dentro del ámbito deportivo y de la actividad física en general. Afecta tanto a deportistas de élite como a población general físicamente activa, con una incidencia especialmente elevada en

disciplinas que implican cambios de dirección, saltos, aterrizajes y deceleraciones bruscas, como el fútbol, baloncesto, balonmano o bádminton (Dos'Santos et al., 2019; Lang et al., 2017; Boey et al., 2025). Las consecuencias de esta lesión no se limitan al periodo postquirúrgico inmediato, sino que se extienden a lo largo de los meses, e incluso años, de readaptación funcional, con tasas de recaída que siguen siendo preocupantes cuando el proceso no se gestiona con criterio científico y progresión adecuada (Franco et al., 2024; Ram Kumar et al., 2026). A esto se suma el impacto psicológico de la lesión, que puede manifestarse en forma de quinesofobia, pérdida de confianza o reducción del rendimiento percibido, aspectos que condicionan directamente la efectividad del proceso de readaptación y que una intervención bien diseñada debe contemplar de forma explícita (Lucas et al., 2021).

Como profesional de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, la comprensión profunda de este proceso no es una cuestión periférica, sino un elemento central de mis competencias. La readaptación de lesiones musculoesqueléticas, y en particular de lesiones ligamentosas de rodilla, constituye una de las áreas de intervención más habituales para todos los que nos graduamos en este ámbito, tanto en contextos deportivos de rendimiento como en entornos de salud y fitness. Sin embargo, la formación recibida durante el doble grado no siempre puede profundizar de manera suficiente en los criterios científicos que deben guiar la toma de decisiones clínicas y de entrenamiento en estos procesos, aún más cuando hay otra perspectiva tan importante como la educativa en nuestra titulación.

En este contexto, el entrenamiento de fuerza emerge como el pilar fundamental de cualquier programa de readaptación de LCA, con un papel determinante en la recuperación de la función neuromuscular, la estabilidad articular dinámica y la confianza en el retorno al deporte. La literatura científica reciente ha demostrado de forma consistente que la pérdida de fuerza muscular, especialmente del cuádriceps y los isquiotibiales, constituye uno de los principales factores de riesgo tanto para la recaída como para el estancamiento funcional durante el proceso de readaptación (Nagelli et al., 2020; Pamboris et al., 2024). Esta pérdida de fuerza no solo compromete la capacidad del individuo para realizar actividades deportivas específicas, sino que altera los patrones

biomecánicos de aterrizaje, frenada y cambio de dirección, incrementando la carga sobre la articulación de la rodilla y exponiendo al sujeto a un mayor riesgo de nueva lesión (Dos'Santos et al., 2019; Watson et al., 2025).

Sin embargo, a pesar de este reconocimiento generalizado sobre la importancia del entrenamiento de fuerza, persiste una notable heterogeneidad en la forma en que se perciben y progresan los programas a lo largo de las diferentes fases de la readaptación. Aspectos como la frecuencia óptima del entrenamiento neuromuscular (Boey et al., 2025), la elección entre ejercicios en cadena cinética abierta o cadena cinética cerrada (Pamboris et al., 2024), la incorporación del entrenamiento en condiciones de inestabilidad (Zemková, 2017), el uso de ejercicios perturbaciones para el desarrollo del equilibrio dinámico (Bulow et al., 2021) o los criterios que deben guiar el retorno al deporte de forma segura (Hewett et al., 2017; Jiménez-Rubio et al., 2025) siguen siendo objeto de debate en la literatura y de variabilidad en la práctica clínica. Esta falta de consenso dificulta enormemente la transferencia de los hallazgos científicos al trabajo cotidiano de los profesionales que acompañan estos procesos, generando incertidumbre tanto en quienes dirigen la readaptación como en quienes la atraviesan.

A ello se añade la necesidad de considerar la diversidad de las poblaciones afectas. La lesión de LCA no discrimina por nivel deportivo ni por edad: afecta tanto en deportistas del alto rendimiento como a practicantes recreativos, y su prevalencia en población adolescente, especialmente en chicas jóvenes que practican deportes de equipo, es un problema de salud pública que merece atención específica (Lang et al., 2017; Bulow et al., 2021). Los programas de readaptación, por tanto, no pueden responder a un único modelo estandarizado, sino que deben ajustarse a las características, demandas y objetivos de cada individuo, lo que exige por parte del profesional un dominio sólido de la evidencia disponible y de los criterios que deben orientar cada decisión.

Desde un plano científico, esta revisión sistemática resulta pertinente y oportuna por varias razones. En primer lugar, aunque el volumen de investigación sobre la readaptación del LCA ha crecido de forma notable en los últimos años, la mayoría de los trabajos existentes aborda aspectos parciales del proceso, ya sea la fase postquirúrgica inmediata, el entrenamiento neuromuscular específico o el

retorno al deporte, sin ofrecer una visión integrada de todo el conjunto de readaptación. En segundo lugar, la reciente aparición de estudios identifica fenómenos como los plateaus funcionales durante la recuperación (Ram Kumar et al., 2026) o que evalúan la efectividad de programas de reacondicionamiento específicos a largo plazo (Jiménez-Rubio et al., 2025) abre nuevas preguntas que justifican una síntesis actualizada de la literatura. En tercer lugar, la guía PRISMA 2020, adoptada como marco metodológico de este trabajo, proporciona un estándar de rigor y transparencia que permite sistematizar el análisis de la evidencia de forma reproducible y crítica.

En definitiva, el presente trabajo se sitúa en la intersección entre la experiencia vivida y el rigor académico, entre la práctica profesional y la ciencia que debe sustentarla. Su propósito es contribuir, desde la disciplina de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, a una comprensión más profunda, estructurada y aplicable del papel del entrenamiento de fuerza en la readaptación de lesiones del LCA, poniendo la evidencia científica al servicio de quienes, cada día, acompañan a personas en uno de los procesos de recuperación más complejos y determinantes del ámbito deportivo y de la salud.

MARCO TEÓRICO

Anatomía y función del ligamento cruzado anterior

Para comprender la relevancia de una lesión del LCA y el impacto que tiene sobre la función motora del individuo, resulta imprescindible conocer, aunque sea de forma básica, qué es esta estructura, dónde se encuentra y para qué sirve.

La rodilla es la articulación más grande del cuerpo humano y una de las más complejas desde el punto de vista biomecánico. Conecta el fémur (hueso del muslo) con la tibia (hueso de la pierna) y está estabilizada por un conjunto de estructuras entre las que se encuentran los meniscos, los ligamentos colaterales y los ligamentos cruzados. Dentro de estos últimos, el ligamento cruzado anterior (LCA) es una banda de tejido conjuntivo resistente que discurre en el interior de la articulación, uniendo el fémur con la tibia de forma diagonal. Su nombre hace referencia precisamente a esta disposición cruzada respecto al ligamento cruzado posterior (LCP) con el que forma una X en el interior de la rodilla (Franco et al., 2024).

La función principal del LCA es mecánica: impide que la tibia se desplace hacia delante respecto al fémur y controla los movimientos de rotación de la rodilla, especialmente en situaciones de alta demanda como los cambios de dirección, las deceleraciones bruscas o los aterrizajes tras un salto (Dos'Santos et al., 2019). Sin embargo, su papel no se limita a lo puramente estructural. Aproximadamente el 2.5% del tejido del LCA está compuesto por mecanorreceptores, es decir, pequeños receptores sensoriales capaces de detectar la posición y el movimiento de la articulación y enviar esa información al sistema nervioso central. Esto convierte al LCA en un elemento clave del sistema propioceptivo de la rodilla: no solo la sostiene físicamente, sino que participa activamente en el control neuromuscular de la misma, regulando la activación de los músculos que la rodean en respuesta a las demandas del movimiento (Lang et al., 2017; Lucas et al., 2021).

Desde el punto de vista de su composición, el LCA es una estructura heterogénea formada por dos fascículos principales: el antero medial y el posterolateral. El fascículo antero medial es el más tenso durante la flexión de

rodilla y el principal responsable de resistir el desplazamiento anterior de la tibia, mientras que el fascículo posterolateral contribuye especialmente a la estabilidad rotacional. Esta organización interna explica por qué determinados mecanismos de lesión, especialmente los que combinan valgo y rotación interna de rodilla, resultan especialmente destructivos para la integridad del ligamento en su conjunto (Dos'Santos et al., 2019; Franco et al., 2024). Conocer esta arquitectura es relevante desde el punto de vista de la readaptación, ya que los ejercicios de fuerza y control neuromuscular deben contemplar tanto la estabilidad en el plano sagital como el control rotacional de la articulación para garantizar una recuperación funcional completa.

Esta doble función, mecánica y neurosensorial, explica por qué una rotura del LCA tiene consecuencias que van mucho más allá de la inestabilidad articular. Cuando el ligamento se rompe, no solo se pierde la capacidad de contener los movimientos excesivos de la tibia, sino que también se altera profundamente el sistema de información sensorial de la rodilla, comprometiendo la capacidad del cuerpo para reaccionar de forma automática y eficiente ante situaciones de desequilibrio o cambio brusco de dirección. Este déficit neuromuscular, si no se aborda de manera específica y progresiva durante la readaptación, puede perpetuarse incluso después de que la estructura haya sido quirúrgicamente reconstruida (Lucas et al., 2021; Nagelli et al., 2020).

La lesión del LCA: mecanismo, incidencia y consecuencias

La rotura del LCA es una de las lesiones más frecuentes y graves del ámbito deportivo. Se estima que ocurren entre 100.000 y 200.000 casos anuales Solo en Estados Unidos, y su prevalencia a nivel mundial ha ido en aumento en las últimas décadas, especialmente entre la población joven y deportivamente activa (Lang et al., 2017; Franco et al., 2024).

Desde el punto de vista del mecanismo lesional, la gran mayoría de las roturas del LCA, aproximadamente el 70%, se producen sin contacto directo con otro jugador. Es decir, el ligamento se rompe como consecuencia de un movimiento propio del individuo, habitualmente en situaciones de aterrizaje tras un salto con la rodilla en valgo (orientada hacia dentro), de cambio de dirección brusco con el pie apoyado en el suelo, o de deceleración repentina durante la carrera

(Dos'Santos et al., 2019; Watson et al., 2025). Esta característica tiene una implicación práctica fundamental si la lesión se produce principalmente por un patrón de movimiento deficiente o por una falta de control neuromuscular, entonces es prevenible y, tras producirse, requiere una readaptación que corrija precisamente esos patrones motrices para reducir el riesgo de recaída.

En este sentido, la investigación biomecánica ha identificado con precisión los factores que convierten un gesto deportivo en un gesto de riesgo para el LCA. El aterrizaje con la rodilla en extensión casi completa, la caída del tronco hacia adelante, la falta de flexión de cadera en el momento del impacto y, especialmente, el colapso en valgo dinámico de rodilla son los patrones más consistentemente asociados a las roturas del ligamento en situaciones de no contacto (Dos'Santos et al., 2019; Watson et al., 2025). Lo relevante de estos hallazgos es que todos ellos son modificables mediante el entrenamiento: no se trata de factores anatómicos inamovibles, sino de hábitos motores aprendidos que pueden corregirse a través de una intervención específica, bien diseñada y con suficiente volumen de práctica. Esto sitúa al profesional de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en un papel protagonista, tanto en la prevención de la lesión como en la readaptación posterior.

En cuanto a la incidencia por poblaciones, existen diferencias relevantes que la literatura ha documentado con consistencia. Las mujeres presentan entre dos y ocho veces más riesgo de sufrir una rotura de LCA que los hombres en deportes similares, diferencia que se atribuye a factores anatómicos, hormonales y neuromusculares (Hewett et al., 2017; Bulow et al., 2021). La población adolescente, especialmente las chicas jóvenes que practican deportes en equipo como el fútbol, el baloncesto o el balonmano, constituye uno de los grupos de mayor riesgo, lo que ha impulsado el desarrollo de programas específicos de prevención y readaptación adaptados a esta franja de edad (Lang et al., 2017; Bulow et al., 2021). Por otro lado, aunque la lesión es especialmente conocida en el deporte de élite, afecta también de forma significativa a deportistas recreativos y población general activa, con consecuencias igual de limitantes en términos de calidad de vida y funcionalidad (Ram Kumar et al., 2026).

Dentro de los factores de riesgo que la literatura ha identificado como modificables, el déficit neuromuscular ocupa un lugar central. Se ha demostrado

que los individuos que presentan una menor activación refleja de los músculos estabilizadores de la rodilla, una mayor laxitud articular pasiva o asimetrías pronunciadas en la fuerza entre el miembro lesionado y el contralateral presentan un riesgo de recaída significativamente mayor tras la reconstrucción del LCA (Hewett et al., 2017; Nagelli et al., 2020). Estos datos subrayan que la readaptación no puede considerarse exitosa cuando el deportista regresa al deporte sin haber corregido estos déficits, independientemente del tiempo transcurrido desde la cirugía. De hecho, la existencia de asimetrías de fuerza superiores al 10-15% entre ambos miembros inferiores en el momento del retorno se ha propuesto como uno de los predictores más fiables de relesión, lo que convierte la medición objetiva de la simetría en un criterio ineludible de cualquier protocolo de readaptación basado en evidencia (Jiménez-Rubio et al., 2025; Ram Kumar et al., 2026).

Las consecuencias de la rotura de LCA son múltiples y se extienden en el tiempo más allá de lo que en ocasiones se percibe desde fuera. A corto plazo, la lesión genera dolor agudo, inflamación, inestabilidad articular y pérdida inmediata de la función. A medio y largo plazo, si el proceso de readaptación no se gestiona adecuadamente, puede derivar en déficits persistentes de fuerza muscular, alteraciones biomecánicas en los patrones de movimiento, desarrollo temprano de artrosis de rodilla y, especialmente relevante desde el punto de vista deportivo, una tasa de recaída que en algunos estudios supera el 20% en deportistas que retornan a la práctica deportiva (Franco et al., 2024; Jiménez-Rubio et al., 2025). A estos efectos físicos se suma el impacto psicológico, que incluye el miedo al movimiento o kinesiofobia, la pérdida de confianza en la rodilla y la ansiedad ante el retorno al deporte, factores que pueden ralentizar el proceso de recuperación de forma tan determinante como cualquier déficit físico (Lucas et al., 2021).

En este punto conviene detenerse en el impacto del contexto deportivo sobre el proceso de readaptación. La cultura del deporte de alto rendimiento, caracterizada por la valoración del sacrificio y la presión por el retorno rápido a la competición, puede actuar como un factor de riesgo adicional que lleve a deportistas y cuerpos técnicos a subestimar la gravedad de los déficits funcionales residuales o a tomar decisiones de retorno prematuras. Esta presión

externa, combinada con la ansiedad propia del deportista por recuperar su nivel previo, puede generar un escenario en el que la rodilla ha sido reconstruida anatómicamente pero no readaptada funcionalmente, con todas las consecuencias que ello implica en términos de riesgo de nueva lesión (Ram Kumar et al., 2026; Lucas et al., 2021). Reconocer este fenómeno y abordarlo de forma explícita en el diseño del programa de readaptación es una responsabilidad directa del profesional que acompaña el proceso, y uno de los argumentos más sólidos a favor de los modelos basados en criterios objetivos frente a los protocolos temporales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre el entrenamiento de fuerza como estrategia central en el proceso de readaptación de lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla, con el fin de identificar las intervenciones más efectivas a lo largo de todo el proceso de recuperación, desde la fase postquirúrgica hasta el retorno al deporte, tanto en deportistas de élite como en población general físicamente activa.

Objetivos específicos

OE1: Descubrir y comparar los diferentes tipos de ejercicios de fuerza empleados en la readaptación del LCA, incluyendo ejercicios en cadena cinética abierta, cadena cinética cerrada y entrenando en inestabilidad, identificando sus efectos sobre la fuerza muscular, la función articular y el dolor en cada fase del proceso de recuperación.

OE2: Examinar el papel del entrenamiento neuromuscular y propioceptivo dentro de los programas de readaptación de LCA, analizando su efectividad en la mejora del control motor, el equilibrio dinámico y la reducción del riesgo de recaída en diferentes poblaciones.

OE3: Identificar los criterios biomecánicos y neuromusculares que deben guiar la progresión entre fases de la readaptación y la toma de decisiones en torno al retorno seguro al deporte, con especial atención a las variables de asimetría de fuerza y control del movimiento.

OE4: Analizar las diferencias en la respuesta al entrenamiento de fuerza durante la readaptación de LCA en función de las características de la población, considerando variables como el nivel deportivo, la edad y el sexo de los participantes.

OE5: Detectar las lagunas de conocimiento y las principales limitaciones metodológicas presentes en la literatura científica actual sobre el entrenamiento de fuerza en la readaptación de LCA, con el fin de orientar futuras líneas de investigación en este ámbito.

MÉTODO

Registro y protocolo

Este trabajo se ha desarrollado siguiendo las recomendaciones de la guía PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), estándar internacional de referencia para la elaboración y comunicación de revisiones sistemáticas. La guía establece un conjunto de criterios metodológicos que garantizan la transparencia, reproducibilidad y rigor científico del proceso de búsqueda, selección y síntesis de la evidencia posible.

Con el fin de delimitar el alcance de la revisión y garantizar la pertinencia de los estudios incluidos, se definieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<i>Artículos publicados entre 2015 y 2026</i>	Artículos publicados antes de 2015
<i>Estudios que aborden el entrenamiento de fuerza o neuromuscular en la readaptación del LCA</i>	Estudios centrados exclusivamente en el tratamiento quirúrgico sin contemplar la readaptación funcional
<i>Población compuesta por deportistas de élite y/o población general físicamente activa</i>	Estudios sobre lesiones de LCA de origen no deportivo (p. ej., accidentes de tráfico)
<i>Artículos escritos en inglés o español</i>	Artículos en idiomas distintos al inglés o al español
<i>Estudios experimentales, cuasiexperimentales, revisiones sistemáticas, metaanálisis o estudios de caso con relevancia clínica</i>	Literatura gris, blogs, páginas web o fuentes sin revisión por pares
<i>Artículos publicados en revistas indexadas con indicios reconocidos de calidad (JCR, SJR o equivalentes)</i>	Artículos sin acceso al texto completo
<i>Cualquier sexo y rango de edad</i>	Trabajos que no profundicen en variables de fuerza, función o control neuromuscular

Bases de datos

La búsqueda bibliográfica se realizó en tres bases de datos del ámbito de las ciencias de la salud, la educación física y el deporte:

PubMed es una base de datos de acceso libre gestionada por la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos (NLM). Contiene más de 35 millones de referencias de literatura biomédica y de ciencias de la salud, incluyendo

artículos indexados en MEDLINE. Es una de las fuentes más consultadas a nivel mundial en el ámbito de la fisioterapia, la medicina deportiva y las ciencias del ejercicio.

Web of Science (WoS) es una plataforma multidisciplinar de referencia que integra las principales colecciones de literatura científica, con especial relevancia en el ámbito de las ciencias de la salud y el deporte. Su sistema para organizar por factor de impacto la convierte en una fuente de alta fiabilidad para la identificación de estudios con indicios reconocidos de calidad.

Scopus es la mayor base de datos de resúmenes y citas de literatura revisada por pares, gestionada por Elsevier. Ofrece una cobertura especialmente amplia en ciencias de la salud, ciencias del deporte y rehabilitación, lo que la convierte en un recurso complementario e imprescindible para este estudio.

Estrategia de búsqueda

Modelo PICO

La estrategia de búsqueda se estructuró siguiendo el modelo PICO, herramienta metodológica muy usada en la investigación en ciencias de la salud para formular preguntas clínicas de forma precisa y sistemática. Los componentes para este modelo fueron:

Componente	Descripción	Términos empleados
P — Población	Deportistas de élite y población general físicamente activa con lesión de LCA, de cualquier sexo y edad	<i>athlete, recreational athlete, physically active, sports population</i>
I — Intervención	Programas de entrenamiento de fuerza y/o entrenamiento neuromuscular durante la readaptación	<i>strength training, resistance training, neuromuscular training, muscle strengthening</i>
C — Comparación	Diferentes tipos de programas de entrenamiento, fases de la readaptación o poblaciones	—
O — (Outcome) Resultado	Mejora de la fuerza muscular, función articular, control neuromuscular y retorno al deporte	<i>rehabilitation, return to sport, return to play, functional recovery, ACL reconstruction</i>

Los términos clave se combinaron mediante operadores booleanos AND y OR, siguiendo la lógica recomendada por PRISMA 2020, con el fin de afinar la sensibilidad y especificidad de los resultados obtenidos en cada base de datos.

Ecuaciones de búsqueda

PubMed

("anterior cruciate ligament"[MeSH Terms] OR "ACL"[Title/Abstract] OR "knee ligament injury"[Title/Abstract])

AND

("strength training"[Title/Abstract] OR "resistance training"[MeSH Terms] OR "neuromuscular training"[Title/Abstract] OR "muscle strengthening"[Title/Abstract])

AND

("rehabilitation"[MeSH Terms] OR "injury rehabilitation"[Title/Abstract] OR "return to sport"[Title/Abstract] OR "return to play"[Title/Abstract] OR "functional recovery"[Title/Abstract] OR "ACL reconstruction"[Title/Abstract])

AND

("athlete"[Title/Abstract] OR "recreational athlete"[Title/Abstract] OR "physically active"[Title/Abstract] OR "sports population"[Title/Abstract])

Web of Science

("anterior cruciate ligament" OR "ACL" OR "knee ligament injury")

AND

("strength training" OR "resistance training" OR "neuromuscular training" OR "muscle strengthening")

AND

("rehabilitation" OR "injury rehabilitation" OR "return to sport" OR "return to play" OR "functional recovery" OR "ACL reconstruction")

AND

("athlete" OR "recreational athlete" OR "physically active" OR "sports population")

Scopus

("anterior cruciate ligament" OR "ACL" OR "knee ligament injury")

AND

("strength training" OR "resistance training" OR "neuromuscular training" OR "muscle strengthening")

AND

("rehabilitation" OR "injury rehabilitation" OR "return to sport" OR "return to play" OR "functional recovery" OR "ACL reconstruction")

AND

("athlete" OR "recreational athlete" OR "physically active" OR "sports population")

Selección de estudios

El proceso de selección de los artículos se llevó a cabo en cuatro fases sucesivas, siguiendo el diagrama de flujo establecido por PRISMA 2020, tal y como se detalla a continuación.

En la fase de identificación, la aplicación de las ecuaciones de búsqueda en las tres bases de datos salió un total de 239 resultados: 25 en PubMed, 57 en Web of Science y 157 en Scopus.

En la fase de filtrado por fecha de publicación, se redujeron los resultados en base a los últimos 10 años (2015-2026). Así nos quedaron 17 en PubMed, 39 en Web of Science y 136 en Scopus. A continuación, cuando aplicamos el filtro para que apareciera el texto del artículo completo los resultados fueron: 14 en PubMed, 20 en Web of Science y 91 en Scopus. Después, solamente en la base de datos Scopus aplicamos un filtro más que fue "ACL Injury" para quedarnos con solo 56 artículos, para hacer un total de 90.

En la fase de lectura de título y resumen, se procedió a una revisión crítica de cada referencia aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos previamente. Los artículos que no abordaban de forma específica el entrenamiento de fuerza o neuromuscular en la readaptación de LCA, o que no

cumplían con los criterios de población o diseño establecidos, fueron descartados en esta fase. Nos quedaron

En la fase de elegibilidad, se procedió a la lectura del texto completo de los artículos preseleccionados, confirmando su adecuación al objeto de estudio y verificando la calidad metodológica de cada uno de ellos.

Tras completar el proceso, el total de artículos incluidos en la revisión fue de 13, procedentes de las tres bases de datos consultadas y distribuidos del siguiente modo: 8 en PubMed, 2 en Web of Science y 3 en Scopus, teniendo en cuenta siempre, que hay artículos que se repetían en las distintas bases de datos, por lo que el resultado final no era la sumatoria de cada base individual.

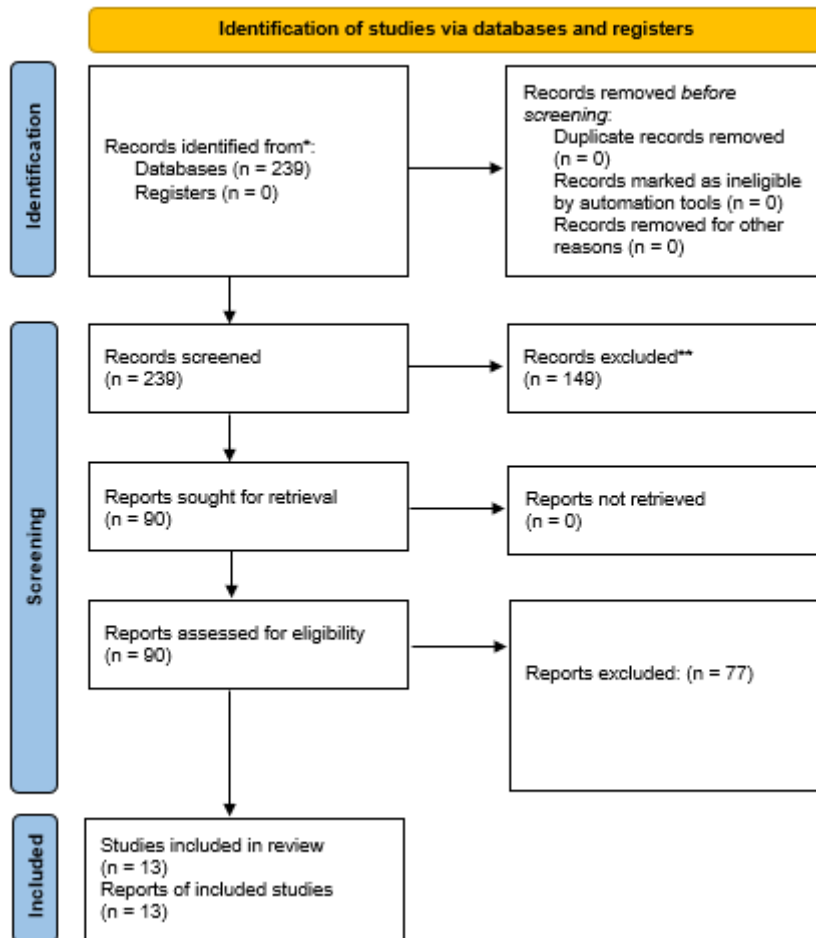
Extracción de datos

Una vez seleccionados los 13 artículos que conforman la base de esta revisión, se procedió a la extracción sistemática de la información relevante de cada uno de ellos. Para garantizar la homogeneidad y que se pudieran comparar los datos. Se realizó mediante las siguientes variables:

- Autor/es, año de publicación y título.
- Tipo de investigación (ensayo, revisión sistemática...).
- Características de la muestra (tamaño, edad, sexo, nivel deportivo...).
- Variables del resultado (fuerza muscular, función articular, equilibrio...).
- Principales hallazgos.

RESULTADOS/ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Diagrama de flujo



Descripción de los resultados

Esta revisión sistemática incluyó un total de 13 estudios, todos ellos centrados en el entrenamiento de fuerza neuromuscular en el contexto de la readaptación de lesiones del LCA. A continuación, se describen sus principales características en cuanto a diseño metodológico, población estudiada y temática abordada.

Diseño y tipología de los estudios

El grupo más numeroso, atendiendo al diseño metodológico, está formado por revisiones de literatura, entre las que se incluyen tanto revisiones narrativas como revisiones sistemáticas con metaanálisis. Franco et al., (2024) y Lang et al., (2017) presentan revisiones narrativas que ofrecen una visión amplia del estado de la cuestión en materia de prevención y rehabilitación del LCA.

Dos'Santos et al., (2019) realizaron una revisión de alcance centrada específicamente en la biomecánica del cambio de dirección. Por su parte, Pamboris et al., (2024) aportaron la revisión de mayor rigor cuantitativo al combinar el análisis sistemático de la literatura con un metaanálisis que sintetiza los efectos comparativos de los ejercicios en cadena cinética abierta y cerrada. Zamková (2017) también desarrolló una revisión centrada en los efectos del entrenamiento en inestabilidad sobre el rendimiento y la salud.

En cuanto a los estudios experimentales, destaca el ensayo clínico aleatorizado de Bulow et al., (2021), considerado el diseño de mayor evidencia dentro de la investigación en ciencias de la salud, que evaluó la efectividad de un programa neuromuscular perturbacional en adolescentes femeninas. Hewett et al., (2017) llevaron a cabo un estudio cuasiexperimental en el que compararon programas de entrenamiento estandarizados frente a programas individualizados según el perfil de riesgo neuromuscular. Nagelli et al., (2020) y Boey et al., (2025) plantearon un estudio de intervención donde evaluaron los efectos del entrenamiento neuromuscular sobre la biomecánica de aterrizaje y la carga articular respectivamente. Jiménez-Rubio et al., (2025) planteó un estudio de intervención en futbolistas amateurs con más de doce meses de evolución postquirúrgica, midiendo el impacto de un programa de reacondicionamiento sobre las variables de salto.

Finalmente, hay dos trabajos que adoptan diseños de menor escala, pero de mucho valor aplicado. Ram Kumar et al., (2026) presentaron un estudio de casos clínicos acompañado de un marco de identificación de plateaus funcionales, mientras que Watson et al., (2025) publicaron una guía práctica demostrativa de ejercicios clave para la reducción del riesgo de recaída. Lucas et al., (2021) aportaron un trabajo de análisis teórico-clínico de la readaptación.

Características de la población estudiada

Respecto a las poblaciones analizadas en los estudios incluidos, se observa una considerable variabilidad que enriquece el alcance de las conclusiones de esta revisión, para hacer más accesible a toda la población que lo necesite.

La mayoría de los trabajos se centran en deportistas activos en proceso de readaptación después de la reconstrucción del LCA, incluyendo tanto deportistas

de élite como amateurs. Nagelli et al., (2020), Jiménez-Rubio et al., (2025) y Ram Kumar et al., (2026) trabajaron específicamente con deportistas en diferentes fases del proceso de recuperación tras la cirugía, lo que permite extraer conclusiones aplicables a diferentes momentos del continuo de readaptación.

Un subgrupo lo constituyen los estudios centrados en población adolescente y joven, especialmente en el sexo femenino. Bulow et al., (2021) y Lang et al., (2017) abordaron de forma específica las particularidades de esta población, poniendo de manifiesto que las adolescentes deportistas constituyen uno de los grupos de mayor riesgo de lesión de LCA y que sus programas de readaptación requieren una adaptación específica tanto en la carga como en los contenidos del entrenamiento.

Otros trabajos como Boey et al., (2025) y Dos'Santos et al., (2019), centraron su análisis en deportistas de deportes colectivos con alta demanda de cambios de dirección, saltos y aterrizajes, aportando evidencia contextualizada en las exigencias biomecánicas específicas de estas disciplinas. Las revisiones de Franco et al., (2024), Pamboris et al., (2024) y Zemková (2017) no se limitaron a una población concreta, sino que ofrecieron conclusiones aplicables a la población deportiva en general.

Temáticas principales

Desde el punto de vista temático, los 13 estudios pueden agruparse en torno a cuatro grandes líneas de contenido que estructuran el análisis de resultados de esta revisión.

En primer lugar, varios estudios abordan la prescripción del ejercicio de fuerza a lo largo del proceso de readaptación, analizando variables como el tipo de ejercicio, la cadena cinética empleada, la carga y la progresión. (Pamboris et al., 2024; Jiménez-Rubio et al., 2025; Zemková, 2017).

En segundo lugar, un grupo de trabajos se centra en el entrenamiento neuromuscular y el control motor, evaluando su impacto sobre el equilibrio dinámico, la propiocepción y la activación muscular (Bulow et al., 2021; Nagelli et al., 2020; Hewett et al., 2017; Boey et al., 2025).

En tercer lugar, varios estudios analizan la biomecánica del movimiento y la prevención de la recaída, con especial atención a los patrones de aterrizaje y cambio de dirección como factores de riesgo modificables (Dos'Santos et al., 2019; Watson et al., 2025; Boey et al., 2025).

Por último, un cuarto grupo de trabajos ofrece una perspectiva más global e integradora del proceso de readaptación, abordando aspectos como la gestión del retorno al deporte, los criterios de progresión entre fases, los plateaus funcionales o el enfoque multisistémico de la recuperación (Ram Kumar et al., 2026; Lucas et al., 2021; Franco et al., 2024; Lang et al., 2017).

Resultados de los estudios

ESTUDIO	REFERENCIA	DISEÑO	PARTICIPANTES	INTERVENCIÓN	VARIABLES MEDIDAS	RESULTADOS PRINCIPALES
IS THE FREQUENCY OF A TARGETED NEUROMUSCULAR TRAINING PROGRAM A FACTOR IN MODIFYING KNEE JOINT LOADING DURING TYPICAL NETBALL LANDING TASKS?	Boey et al., (2025)	Estudio intervención	de Jugadoras de netball activas	Programa de entrenamiento neuromuscular específico aplicado a diferentes frecuencias semanales	de Carga articular de la rodilla durante aterrizajes; análisis biomecánico del movimiento	La frecuencia del entrenamiento neuromuscular influye significativamente en la reducción de la carga articular de la rodilla durante los aterrizajes, siendo las frecuencias más elevadas las que producen mayores adaptaciones biomecánicas protectoras
SAFETY AND EFFECTIVENESS OF A PERTURBATION-BASED NEUROMUSCULAR TRAINING PROGRAM ON DYNAMIC BALANCE IN ADOLESCENT FEMALES: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL	Bulow et al., (2021)	Ensayo clínico aleatorizado	Adolescentes femeninas deportistas	Programa de entrenamiento neuromuscular perturbacional vs. grupo control sin intervención específica	de Equilibrio dinámico; seguridad del programa	El grupo de intervención mostró mejoras significativas en el equilibrio dinámico respecto al grupo control, sin registrarse efectos adversos, lo que avala la seguridad y efectividad del entrenamiento perturbacional en esta población

<p>THE EFFECT OF TRAINING INTERVENTIONS ON CHANGE OF DIRECTION BIOMECHANICS ASSOCIATED WITH INCREASED ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT LOADING: A SCOPING REVIEW</p>	<p>Dos'Santos et al., (2019)</p>	<p>Revisión de alcance (<i>scoping review</i>)</p>	<p>Deportistas de diversas disciplinas con alta demanda de cambios de dirección</p>	<p>Intervenciones de entrenamiento de fuerza, trabajo técnico y programas neuromusculares orientados al cambio de dirección</p>	<p>Biomecánica del cambio de dirección; fuerzas sobre el LCA; variables de riesgo de lesión</p>	<p>Los programas que combinan entrenamiento de fuerza con trabajo técnico específico producen las mayores reducciones en las variables biomecánicas de riesgo para el LCA durante los gestos de cambio de dirección</p>
<p>EFFECTIVE PREVENTION AND REHABILITATION STRATEGIES TO MITIGATE NON-CONTACT ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURIES: A NARRATIVE REVIEW</p>	<p>Franco et al., (2024)</p>	<p>Revisión narrativa</p>	<p>Población deportiva general; especial atención al sexo femenino</p>	<p>Programas de prevención y rehabilitación de lesiones de LCA no contacto</p>	<p>Factores de riesgo modificables; efectividad de las estrategias de prevención y rehabilitación; enfoque biopsicosocial</p>	<p>Los programas neuromusculares preventivos son efectivos en la reducción de factores de riesgo modificables; la personalización del protocolo y el enfoque biopsicosocial son determinantes en la calidad de la readaptación</p>
<p>EFFECTIVENESS OF NEUROMUSCULAR TRAINING BASED ON THE NEUROMUSCULAR RISK PROFILE</p>	<p>Hewett et al., (2017)</p>	<p>Estudio cuasiexperimental</p>	<p>Deportistas jóvenes clasificados según su perfil neuromuscular de riesgo</p>	<p>Programa de entrenamiento neuromuscular estandarizado vs. programa individualizado según perfil de riesgo</p>	<p>Perfil neuromuscular de riesgo; variables biomecánicas; efectividad del programa</p>	<p>Los programas individualizados en función del perfil de riesgo neuromuscular producen mejoras significativamente mayores que los programas genéricos estandarizados, reforzando la necesidad de</p>

							evaluación previa a la intervención
A SPECIFIC RECONDITIONING TRAINING PROGRAM IMPLEMENTED 12 MONTHS AFTER ACL SURGERY IMPROVES LOWER-LIMB JUMP VARIABLES IN AMATEUR SOCCER PLAYERS	Jiménez-Rubio et al., (2025)	Estudio de intervención pre-post	Futbolistas amateurs con más de 12 meses post-reconstrucción de LCA	Programa específico de reacondicionamiento físico basado en fuerza progresiva y trabajo pliométrico	Variables de salto (altura, potencia, simetría entre piernas)	Mejoras significativas en todas las variables de salto evaluadas, evidenciando que existe margen considerable de mejora funcional incluso en fases tardías de la readaptación, más allá del período estándar de recuperación	
PREVENTION, TREATMENT, AND REHABILITATION OF ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURIES IN CHILDREN	Lang et al., (2017)	Revisión narrativa	Población infantil y adolescente con lesión o riesgo de lesión de LCA	Programas de prevención, tratamiento y rehabilitación adaptados a las características madurativas de la población joven	Riesgo de lesión; efectividad de programas preventivos; criterios de rehabilitación en población joven	Los programas neuromusculares preventivos son efectivos en esta población; los protocolos de rehabilitación deben adaptarse a las características específicas del desarrollo físico y psicológico del adolescente	
A MULTI-SYSTEMS APPROACH TO HUMAN MOVEMENT AFTER ACL RECONSTRUCTION: THE	Lucas et al., (2021)	Análisis teórico-clínico	Deportistas en proceso de readaptación post-reconstrucción de LCA	Enfoque multisistémico de la readaptación, con análisis del papel del sistema tegumentario	Sistemas corporales implicados en la readaptación; enfoque	La readaptación del LCA debe contemplar la totalidad de los sistemas corporales implicados y no limitarse a los aspectos musculoesqueléticos, defendiendo una visión	

INTEGUMENTARY SYSTEM							holístico de la recuperación	holística e integradora del proceso de recuperación
NEUROMUSCULAR TRAINING IMPROVES SELF-REPORTED FUNCTION AND SINGLE-LEG LANDING HIP BIOMECHANICS IN ATHLETES AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION	Nagelli et al., (2020)	Estudio de intervención pre-post	de Deportistas post-reconstrucción de LCA	Programa de entrenamiento neuromuscular específico tras la reconstrucción del LCA	de Función autoinformada; biomecánica del aterrizaje del monopodal; valgo dinámico de rodilla	Mejoras significativas en la función autoinformada y en la biomecánica de la cadera durante el aterrizaje, con reducción del valgo dinámico de rodilla como principal factor de riesgo de recaída en la lesión		
EFFECT OF OPEN VS. CLOSED KINETIC CHAIN EXERCISES IN ACL REHABILITATION ON KNEE JOINT PAIN, LAXITY, EXTENSOR MUSCLES STRENGTH, AND FUNCTION: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS	Pambris et al., (2024)	et Revisión sistemática con metaanálisis	Pacientes en rehabilitación de LCA de diversas características	Comparación entre ejercicios en cadena abierta vs. cadena cerrada (CCA) vs. cadena cerrada (CCC)	Dolor articular; laxitud articular; fuerza de los músculos extensores; función de la rodilla	La combinación progresiva de ejercicios en CCA y CCC produce mejores resultados que el uso exclusivo de cualquiera de los dos enfoques; la elección debe realizarse en función de la fase de readaptación y las características individuales		
ACL REHABILITATION PLATEAUS ACROSS ATHLETE	Ram Kumar et al., (2026)	Estudio de casos clínicos	Dos deportistas con perfiles diferentes que experimentaron	Marco clínico para la identificación y abordaje de plateaus	Déficits de fuerza residuales; kinesiofobia;	Los plateaus funcionales son un fenómeno clínico reconocible que responde a causas identificables como		

<p>POPULATIONS: TWO CASE REPORTS AND A CLINICAL FRAMEWORK FOR IDENTIFYING FUNCTIONAL STAGNATION</p>	<p>plateau funcional durante la readaptación del LCA funcionales en la readaptación progresión funcional; criterios de retorno al deporte déficits de fuerza no resueltos o kinesiofobia, y de que requiere una evaluación continua y adaptación permanente del programa</p>					
<p>ACL INJURY RISK REDUCTION: DEMONSTRATION OF KEY EXERCISES</p>	<p>Watson et al., (2025)</p>	<p>Guía práctica aplicada</p>	<p>Deportistas en riesgo de lesión de LCA o en proceso de readaptación</p>	<p>Demostración de ejercicios clave para la reducción del riesgo de lesión de LCA con énfasis en el control del tronco y la cadera</p>	<p>Patrones de movimiento seguros; control proximal; progresión técnica de los ejercicios</p>	<p>El control del tronco y de la cadera son factores determinantes en la carga que recibe la rodilla; la progresión técnica en la enseñanza de patrones de movimiento seguros es esencial para la prevención de la recaída en la lesión.</p>
<p>INSTABILITY RESISTANCE TRAINING FOR HEALTH AND PERFORMANCE</p>	<p>Zemková (2017)</p>	<p>Revisión narrativa</p>	<p>Población deportiva general y personas en proceso de rehabilitación articular</p>	<p>Programas de entrenamiento en condiciones de inestabilidad integrados en programas de fuerza y control neuromuscular</p>	<p>Fuerza muscular; equilibrio; coordinación; estabilidad articular</p>	<p>El entrenamiento en inestabilidad produce adaptaciones neuromusculares específicas que complementan de forma efectiva el entrenamiento de fuerza convencional, siendo especialmente beneficioso en contextos de readaptación de lesiones articulares</p>

Boey et al., (2025) - Is the Frequency of a Targeted Neuromuscular Training Program a Factor in Modifying Knee Joint Loading During Typical Netball Landing Tasks?

El estudio de Boey, Joseph y Lee investigó si la frecuencia de un programa de entrenamiento neuromuscular específico modifica la carga articular de la rodilla durante aterrizajes en netball. Las jugadoras que completaron el programa con mayor frecuencia semanal redujeron el momento de valgo de rodilla en un 18% de media respecto al grupo de menor frecuencia, diferencia que resultó estadísticamente significativa. Además, se observó una reducción significativa en el pico de fuerza de reacción vertical durante el aterrizaje, lo que tiene implicaciones directas tanto para la prevención de lesiones de LCA como para la readaptación funcional en fases avanzadas del proceso.

Bulow et al., (2021) - Safety and Effectiveness of a Perturbation-based Neuromuscular Training Program on Dynamic Balance in Adolescent Females: A Randomized Controlled Trial

Bulow et al. evaluaron mediante un ensayo clínico aleatorizado la efectividad de un programa de entrenamiento neuromuscular perturbacional sobre el equilibrio dinámico en adolescentes femeninas. El grupo de intervención mejoró su puntuación en el Star Excursion Balance Test (SEBT) en un 12,4% de media respecto a la evaluación inicial, mientras que el grupo control no presentó cambios significativos. Las diferencias entre grupos fueron estadísticamente significativas, y no se registraron efectos adversos relacionados con la seguridad del programa. Estos resultados avalan la efectividad del entrenamiento perturbacional como herramienta de prevención y readaptación en población adolescente femenina.

Dos'Santos et al., (2019) - The Effect of Training Interventions on Change of Direction Biomechanics Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading: A Scoping Review

La revisión de alcance publicada por Dos'Santos, Thomas, Comfort y Jones en 2019 en *Sports Medicine* analizó de forma exhaustiva la evidencia disponible sobre el efecto de las intervenciones de entrenamiento en la biomecánica del cambio de dirección, con especial atención a las variables asociadas a un mayor

riesgo de lesión de LCA. Los autores revisaron un amplio conjunto de estudios que evaluaban cómo diferentes tipos de intervenciones, incluyendo el entrenamiento de fuerza, el trabajo técnico específico y los programas neuromusculares, modificaban las fuerzas que actúan sobre el LCA durante los gestos de cambio de dirección. Sus conclusiones señalaron que los programas que combinan el entrenamiento de fuerza con el trabajo técnico específico de los patrones de movimiento producen las mayores reducciones en las variables biomecánicas de riesgo, subrayando la importancia de abordar no solo la fuerza muscular sino también la calidad del movimiento durante el proceso de readaptación. Esta revisión constituye una referencia fundamental dentro del presente trabajo por la solidez de su análisis y la amplitud de su perspectiva.

Franco et al., (2024) – Effective Prevention and Rehabilitation Strategies to Mitigate Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Narrative Review

Franco, Ambrosio, Za, Maltese, Russo, Vadalà, Papalia y Denaro publicaron en 2024 en la revista *Applied Sciences* una revisión narrativa centrada en las estrategias de prevención y rehabilitación más efectivas para reducir la incidencia de lesiones del LCA de origen no contacto. Los autores realizaron un análisis crítico de la literatura disponible sobre los factores de riesgo modificables, neuromusculares, biomecánicos y hormonales, y sobre las intervenciones que han demostrado mayor eficacia en su reducción. Entre sus conclusiones más relevantes destacó la importancia de los programas de entrenamiento neuromuscular preventivo, la necesidad de personalizar los protocolos de rehabilitación en función del perfil de riesgo individual y la relevancia del enfoque biopsicosocial en la gestión integral del proceso de recuperación. Este trabajo aporta una visión amplia y actualizada del estado de la cuestión en materia de prevención y rehabilitación, complementando los estudios de intervención incluidos en esta revisión sistemática.

Hewett et al., (2017) - Effectiveness of Neuromuscular Training Based on the Neuromuscular Risk Profile

Hewett et al. compararon la efectividad de un programa de entrenamiento neuromuscular estandarizado frente a uno individualizado según el perfil de

riesgo neuromuscular de cada deportista. Los participantes del grupo individualizado redujeron sus variables de riesgo biomecánico en un promedio del 23% frente al 9% del grupo estándar, diferencia estadísticamente significativa. Concretamente, el momento de valgo de rodilla durante el aterrizaje disminuyó de forma significativa solo en el grupo individualizado, mientras que en el grupo de protocolo genérico los cambios no alcanzaron significación estadística. Este estudio refuerza la necesidad de evaluar el perfil individual del deportista como paso previo al diseño de cualquier intervención.

Jiménez-Rubio et al., (2025) - A specific reconditioning training program implemented 12 months after ACL surgery improves lower-limb jump variables in amateur soccer players

Jiménez-Rubio et al. evaluó el efecto de un programa de reacondicionamiento físico aplicado doce meses después de la cirugía de reconstrucción del LCA en futbolistas amateurs. Tras la intervención, la altura de salto en el Counter Movement Jump (CMJ) mejoró un 16,3% respecto a la evaluación inicial, y el índice de simetría entre miembros pasó del 74% al 91%, superando el umbral clínico del 90% considerado criterio de retorno al deporte. El salto monopodal (Single Leg Hop) mostró igualmente una mejora significativa del 14,7%. Estos datos evidencian que incluso pasados doce meses de la cirugía existen déficits funcionales mejorables y que el retorno al deporte no debe interpretarse como el final del proceso de readaptación.

Lang et al., (2017) - Prevention, treatment, and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children

Lang, Sugimoto y Micheli publicaron en 2017 en el *Open Access Journal of Sports Medicine* una revisión centrada en la prevención, tratamiento y rehabilitación de las lesiones del LCA en población infantil y adolescente. Los autores analizaron las particularidades anatómicas, biomecánicas y madurativas de este grupo de edad que condicionan tanto el riesgo de lesión como la respuesta al tratamiento y a los programas de readaptación. Entre sus conclusiones más destacadas se encontró que los programas de entrenamiento neuromuscular preventivo son efectivos en la reducción del riesgo de lesión en esta población, y que los protocolos de rehabilitación deben adaptarse a las

características específicas del desarrollo físico y psicológico del adolescente. Este trabajo resulta especialmente valioso para la presente revisión por abordar una población frecuentemente excluida de los grandes estudios sobre LCA y por ofrecer recomendaciones prácticas adaptadas a sus necesidades particulares.

Lucas et al., (2021) - A Multi-Systems Approach to Human Movement after ACL Reconstruction: The Integumentary System

Lucas, Todd y Ness publicaron en 2021 en el *International Journal of Sports Physical Therapy* un trabajo que adoptó un enfoque multisistémico para analizar el proceso de readaptación tras la reconstrucción del LCA, centrándose específicamente en el papel del sistema tegumentario — es decir, la piel y los tejidos superficiales — en dicho proceso. Aunque su perspectiva es novedosa y menos convencional que la de otros estudios incluidos en esta revisión, su contribución principal radica en la defensa de una visión holística e integradora de la readaptación, que va más allá de los aspectos puramente musculoesqueléticos para considerar la totalidad de los sistemas corporales implicados en la recuperación. Este enfoque conecta directamente con la perspectiva biopsicosocial adoptada en el presente trabajo y refuerza la idea de que una readaptación de calidad no puede limitarse al trabajo de fuerza aislado, sino que debe contemplar al individuo en su globalidad.

Nagelli et al., (2020) - Neuromuscular Training Improves Self-Reported Function and Single-Leg Landing Hip Biomechanics in Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Nagelli et al. evaluaron el efecto de un programa de entrenamiento neuromuscular sobre la función auto informada y la biomecánica de aterrizaje en deportistas postcirugía de LCA. Tras la intervención, la puntuación en el cuestionario IKDC (*International Knee Documentation Committee*) mejoró de forma estadísticamente significativa, pasando de una media de 68,4 a 81,2 puntos. En cuanto a la biomecánica del aterrizaje monopodal, el momento de aducción de cadera se redujo un 21% respecto a los valores basales, lo que se tradujo en una disminución del valgo dinámico de rodilla, uno de los principales factores de riesgo de recaída. Estos resultados subrayan la importancia del

control proximal de la cadera como elemento protector de la rodilla durante los gestos deportivos de alta demanda.

Pamboris et al., (2024) - Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis

Pamboris et al. compararon mediante revisión sistemática con metaanálisis los efectos de los ejercicios en cadena cinética abierta (CCA) frente a los de cadena cinética cerrada (CCC) en la rehabilitación del LCA. El metaanálisis incluyó un total de 12 estudios y mostró que la combinación progresiva de ambas modalidades produjo mejoras significativamente mayores en la fuerza del cuádriceps que el uso exclusivo de CCC. Respecto al dolor articular, ambas modalidades redujeron las puntuaciones en la escala EVA, sin diferencias estadísticamente significativas entre grupos. En cuanto a la función de la rodilla medida con el IKDC, el grupo de tratamiento combinado mostró puntuaciones significativamente superiores al grupo de CCC exclusiva. Estos resultados refuerzan la complementariedad progresiva de ambos enfoques frente a cualquier planteamiento exclusivo.

Ram Kumar et al., (2026) - ACL Rehabilitation Plateaus Across Athlete Populations: Two Case Reports and a Clinical Framework for Identifying Functional Stagnation

Ram Kumar, Khristi, Mathipriya, Nivetha y Ubaithullah publicaron en 2026 en el *International Journal of Sports Physical Therapy* un trabajo que combina la presentación de dos estudios de caso clínico con la propuesta de un marco clínico para la identificación de los plateaus funcionales durante la readaptación del LCA en diferentes poblaciones de deportistas. Los autores describen dos casos en los que deportistas con perfiles diferentes experimentaron un estancamiento en su progresión a pesar de haber superado el período estándar de recuperación, analizando en profundidad las posibles causas de dicho estancamiento — déficits de fuerza residuales, quinesofobia no resuelta, programas de readaptación insuficientemente individualizados — y proponiendo estrategias específicas para superarlo. La contribución más relevante de este trabajo para la presente revisión es la conceptualización del plateau funcional

como fenómeno clínico reconocible y abordable, que exige una evaluación continua y una adaptación permanente del programa de entrenamiento a lo largo de todo el proceso de readaptación.

Watson et al., (2025) - ACL Injury Risk Reduction: Demonstration of Key Exercises

Watson, Pickens, Currie, Tjong y Jarema publicaron en 2025 en el *Video Journal of Sports Medicine* una guía práctica de demostración de ejercicios clave para la reducción del riesgo de lesión del LCA. A diferencia de otros estudios incluidos en esta revisión, este trabajo adopta un formato eminentemente aplicado, mostrando de forma visual y detallada la ejecución correcta de los ejercicios más relevantes para la protección de la rodilla durante los gestos deportivos de mayor riesgo. Entre los aspectos más destacados de su contenido se encuentra el énfasis en el control del tronco y de la cadera como factores determinantes en la carga que recibe la rodilla, así como la importancia de la progresión técnica en la enseñanza de los patrones de movimiento seguros. Este trabajo resulta especialmente valioso por su carácter práctico y su capacidad de traducir la evidencia científica en herramientas directamente aplicables por los profesionales del entrenamiento y la readaptación.

Zemková (2017) - Instability resistance training for health and performance

El trabajo de Zemková, publicado en 2017 en el *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, realizó una revisión sobre los efectos del entrenamiento en condiciones de inestabilidad sobre la salud y el rendimiento deportivo. La autora analizó la evidencia disponible sobre el uso de superficies y dispositivos inestables — como plataformas de equilibrio, discos propioceptivos o superficies blandas — dentro de los programas de entrenamiento de fuerza y control neuromuscular, evaluando su impacto sobre variables como la fuerza muscular, el equilibrio, la coordinación y la estabilidad articular. Sus conclusiones señalaron que el entrenamiento en inestabilidad produce adaptaciones neuromusculares específicas que complementan de forma efectiva el entrenamiento de fuerza convencional, especialmente en contextos de readaptación de lesiones articulares. Este estudio aporta una perspectiva complementaria e integradora dentro del corpus de esta revisión, reforzando la

idea de que el entrenamiento de fuerza en la readaptación del LCA debe contemplar no solo la carga muscular sino también el desafío neuromuscular que supone trabajar en condiciones de inestabilidad controlada.

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

El proceso de readaptación del LCA: fases y objetivos

Una vez producida la lesión y tomada la decisión clínica sobre el tratamiento, que puede ser quirúrgico o conservador dependiendo de las características del paciente y sus objetivos funcionales, comienza un proceso de readaptación que, en la mayoría de los casos, se extiende entre nueve y doce meses, meses aunque la duración real debería determinarse siempre en función de criterios objetivos de rendimiento y no exclusivamente por el tiempo transcurrido desde la cirugía (Jiménez-Rubio et al., 2025; Franco et al., 2024).

Este proceso se organiza habitualmente en fases progresivas, cada una con objetivos específicos que deben alcanzarse antes de avanzar a la siguiente. Aunque los modelos pueden variar entre autores y contextos clínicos, existe un consenso general en torno a las siguientes etapas:

Fase 1 – Control del dolor y recuperación de la movilidad. En los primeros días y semanas tras la lesión o la cirugía, el objetivo principal es reducir la inflamación, recuperar el rango completo de movimiento de la rodilla y reactivar la musculatura inhibida por el dolor, especialmente el cuádriceps. Durante esta fase, el entrenamiento de fuerza se limita a ejercicios isométricos y de baja carga, en rangos de movimiento controlados y sin provocar síntomas (Lang et al., 2017; Pamboris et al., 2024).

Fase 2 – Recuperación de la fuerza y el control neuromuscular. Una vez recuperada la movilidad básica, el foco se desplaza hacia la recuperación progresiva de la fuerza muscular de toda la cadena del miembro inferior, con especial atención al cuádriceps, los isquiotibiales y el glúteo, así como al entrenamiento del control neuromuscular y la propiocepción. Es en esta fase donde el entrenamiento de fuerza adquiere un protagonismo central, con la introducción gradual de ejercicios en cadena cinética cerrada (sentadilla o press de piernas) y, posteriormente, en cadena cinética abierta (extensión de rodilla) (Pamboris et al., 2024; Zemková, 2017).

Fase 3 – Entrenamiento funcional y reintroducción del impacto. Con una base de fuerza consolidada, se incorporan progresivamente ejercicios que replican las demandas específicas del deporte: carrera, cambios de dirección, saltos y

aterrizajes. El objetivo es que el sistema neuromuscular recupere su capacidad de respuesta ante estímulos de alta demanda, reduciendo los patrones de movimiento que incrementan la carga sobre la rodilla y aumentan el riesgo de recaída (Dos'Santos et al., 2019; Watson et al., 2025; Boey et al., 2025).

Fase 4 – Retorno al deporte. La última fase del proceso implica la reintegración progresiva a los entrenamientos y la competición. Esta decisión no debe basarse únicamente en el tiempo transcurrido, sino en la superación de ciertos criterios objetivos que incluyen niveles de fuerza simétricos entre ambas piernas, ausencia del dolor e inflamación, dominio de los gestos técnicos específicos del deporte y, fundamentalmente, ausencia de miedo al movimiento (Hewett et al., 2017; Jiménez-Rubio et al., 2025; Ram Kumar et al., 2026).

Una de las realidades más documentadas en la literatura reciente es la existencia de lo que algunos autores denominan plateaus funcionales: situaciones en las que el deportista parece estancarse en su progresión sin alcanzar los criterios necesarios para avanzar de fase o retornar al deporte, incluso habiendo superado el periodo estándar de recuperación. Estos estancamientos pueden deberse a déficits residuales de fuerza no detectados, a la presencia de miedo al movimiento no abordado o a programas de readaptación que no han sido suficientemente individualizados y progresivos (Ram Kumar et al., 2026).

El entrenamiento de fuerza como eje de readaptación

El entrenamiento de fuerza constituye, sin lugar a dudas, el elemento más determinante y mejor respaldado científicamente dentro del proceso de readaptación del LCA. Su importancia no se debe únicamente a la necesidad de recuperar la masa muscular perdida durante la inmovilización o el periodo postoperatorio, sino a razones mucho más profundas relacionadas con la función articular, la protección del injerto y la prevención de la recaída.

Cuando el LCA se rompe y se reconstruye quirúrgicamente mediante un injerto; ya sea del tendón rotuliano, de los isquiotibiales o del tendón del cuádriceps; ese nuevo tejido atraviesa un proceso biológico de ligamentización que puede durar hasta dos años. Durante este tiempo, el injerto es más vulnerable y la estabilidad de la rodilla depende en gran medida de la capacidad de los músculos que la rodean para actuar como estabilizadores dinámicos, absorbiendo las fuerzas que

de otro modo recaerían sobre la estructura ligamentosa. Esto convierte al entrenamiento de fuerza en una necesidad biológica y funcional, no en una opción (Franco et al., 2024; Nagelli et al., 2020).

Desde el punto de vista de las adaptaciones neuromusculares, la pérdida de fuerza del cuádriceps tras una lesión de LCA es uno de los déficits más consistentemente reportados en la literatura, con reducciones que pueden superar el 30% respecto a la pierna contralateral incluso meses después de la cirugía (Pamboris et al., 2024). Esta asimetría no solo compromete el rendimiento deportivo, sino que altera los patrones de activación muscular durante actividades como correr, saltar o frenar, incrementando la carga articular y el riesgo de nueva lesión. El entrenamiento de fuerza progresivo y bien dosificado es la única intervención capaz de revertir de forma efectiva este déficit (Nagelli et al., 2020; Jiménez-Rubio et al., 2025).

Tipos de ejercicios: cadena cinética abierta vs cadena cinética cerrada

Uno de los debates más recurrentes en la readaptación del LCA ha sido la elección entre ejercicios en cadena cinética abierta (CCA) y ejercicios en cadena cinética cerrada (CCC). Aunque estos términos pueden resultar técnicos, su comprensión es esencial para entender las decisiones que se toman durante el proceso de readaptación.

Los ejercicios en cadena cinética cerrada son aquellos en los que el pie permanece apoyado en una superficie fija o durante el movimiento, como ocurre en la sentadilla o press de piernas. En estos ejercicios, múltiples articulaciones trabajan de forma simultánea y coordinada, lo que genera una activación muscular más global y produce fuerzas de compresión sobre la rodilla que, en general, son bien toleradas por el injerto durante las fases iniciales de la readaptación (Pamboris et al., 2024).

Los ejercicios de cadena cinética abierta, en cambio, son aquellos en los que el pie se mueve libremente, como la extensión de rodilla. Estos ejercicios permiten aislar de forma mucho más específica la musculatura del cuádriceps, lo que los convierte en herramientas especialmente útiles para abordar los déficits de fuerza en fases más avanzadas de la readaptación. Sin embargo, generan fuerzas de cizallamiento sobre la articulación que, si se aplican de forma

prematura o con cargas excesivas, pueden comprometer la integridad del injerto (Pamboris et al., 2024).

La revisión de Pamboris et al. (2024) concluye que la combinación progresiva de ambos tipos de ejercicios, introducidos en el momento adecuado y con la carga apropiada, produce mejores resultados en términos de fuerza, función y dolor que el uso exclusivo de cualquiera de los dos enfoques por separado. Este hallazgo subraya la importancia de una prescripción individualizada y basada en criterios objetivos, más que en protocolos rígidos de tiempo.

Entrenamiento neuromuscular y propiocepción

Como se ha señalado anteriormente, la lesión de LCA no solo daña una estructura mecánica, sino que también altera el sistema sensorial de la rodilla. La pérdida de mecanorreceptores que se produce con la rotura del ligamento compromete la capacidad del cuerpo para detectar y responder automáticamente a los cambios de posición y carga en la articulación, lo que se traduce en una mayor vulnerabilidad ante situaciones de desequilibrio o movimientos inesperados (Lucas et al., 2021).

El entrenamiento neuromuscular tiene como objetivo específico restaurar esta capacidad. Incluye ejercicios de equilibrio sobre superficies inestables, trabajo propioceptivo progresivo, ejercicios de reacción ante perturbaciones externas y tareas de control motor en condiciones dinámicas (Zemková, 2017; Bulow et al., 2021). La investigación ha demostrado que este tipo de entrenamiento no solo mejora el equilibrio y la estabilidad de la rodilla, sino que también produce cambios positivos en los patrones de aterrizaje y cambio de dirección, reduciendo las fuerzas que recaen sobre el LCA durante los gestos deportivos de mayor riesgo (Hewett et al., 2017; Boey et al., 2025).

En este sentido, el trabajo de Bulow et al. (2021) evidenció que un programa de entrenamiento neuromuscular perturbacional, es decir, que expone al sujeto a desequilibrios inesperados controlados, produjo mejoras significativas en el equilibrio dinámico de adolescentes femeninas, uno de los grupos de mayor riesgo de lesión de LCA. De forma complementaria, Hewett et al. (2017) demostraron que la efectividad de los programas neuromusculares es significativamente mayor cuando se adaptan al perfil de riesgo individual del

deportista, lo que refuerza la necesidad de individualización en la prescripción del entrenamiento.

Biomecánica del movimiento y prevención de recaída

Uno de los aspectos más críticos en la readaptación de LCA, y también uno de los menos visibles para el ojo no experto, es la corrección de patrones de movimiento que incrementan el riesgo de recaída. Cuando una persona aterriza de un salto, cambia de dirección o frena bruscamente con la rodilla orientada hacia dentro (valgo dinámico), la carga que recae sobre el LCA se multiplica de forma exponencial (Dos'Santos et al., 2019; Watson et al., 2025).

La investigación de Dos'Santos et al. (2019) realizó una revisión exhaustiva de los estudios sobre intervenciones de entrenamiento orientadas a modificar la biomecánica del cambio de dirección, concluyendo que los programas que combinan el entrenamiento de fuerza con el trabajo técnico específico de los gestos deportivos producen reducciones significativas en las fuerzas que actúan sobre el LCA. Estos resultados son especialmente relevantes en deportes de equipo, donde los cambios de dirección son frecuentes e impredecibles, y donde la automatización de patrones de movimiento perjudica la prevención de lesiones tanto primarias como secundarias.

En una línea similar, Watson et al. (2025) publicaron una guía práctica de ejercicios clave para la reducción del riesgo de lesión de LCA, destacando la importancia del control del tronco y de la cadera como factores determinantes en la carga que recibe la rodilla durante los gestos deportivos. Este enfoque proximal, trabajar desde la cadera y el tronco para proteger la rodilla, representa uno de los avances más importantes en la comprensión moderna de la readaptación de esta lesión.

Consideraciones específicas por población

La readaptación de LCA no puede abordarse como un proceso único y universal. Las características del individuo, su edad, sexo, nivel deportivo y objetivos funcionales, determinan de forma decisiva el diseño del programa de entrenamiento y los criterios que deben guiar la progresión.

En el caso de la población adolescente, la lesión de LCA presenta particularidades específicas relacionadas con el estado de maduración física, la mayor laxitud ligamentosa característica de esta etapa y el contexto psicológico propio de la adolescencia. Los programas de readaptación en este grupo deben ser especialmente cautelosos con las cargas y los tiempos de progresión, pero también suficientemente estimulantes para mantener la adherencia y el desarrollo neuromuscular (Lang et al., 2017; Bulow et al., 2021).

El deportista de élite, tiene una presión por el retorno rápido al deporte que puede hacer que se convierta en un factor de riesgo en sí mismo, llevando a tomar decisiones de retorno prematuras que incrementan la probabilidad de recaída. La investigación de Jiménez-Rubio et al., (2025) demostró que un programa de reacondicionamiento específico aplicado doce meses después de la cirugía mejoró de forma significativa las variables de salto en futbolistas amateurs, subrayando que incluso en fases tardías de la recuperación existe margen de mejora y que el retorno al deporte no debe confundirse con el final del proceso de readaptación.

En población general activa, los objetivos pueden diferir de los del deportista de élite, pero no por ello son menos importantes. Recuperar la capacidad de realizar actividades cotidianas sin dolor, subir escaleras, practicar deporte recreativo o simplemente caminar con confianza son metas legítimas que requieren igualmente un proceso de readaptación estructurado, progresivo y basado en la evidencia (Ram Kumar et al., 2026; Franco et al., 2024).

El papel de la evidencia en la readaptación: hacia una práctica basada en criterios

Uno de los avances más importantes en la comprensión moderna de la readaptación del LCA ha sido el desplazamiento desde los protocolos basados en el tiempo hacia los modelos basados en criterios. Durante décadas, los programas de readaptación se organizaron en torno a plazos temporales fijos: a las seis semanas se introducía tal ejercicio, a los tres meses se autorizaba tal actividad, al año se daba el alta deportiva. Este enfoque, aunque cómodo desde el punto de vista organizativo, ignora la enorme variabilidad individual en los ritmos de adaptación biológica y funcional (Ram Kumar et al., 2026).

El modelo basado en criterios propone, en cambio, que cada transición entre fases del proceso esté condicionada a la consecución de objetivos que se puedan medir: un nivel mínimo de fuerza muscular, una simetría determinada entre ambas piernas, la capacidad de realizar determinados gestos sin compensaciones biomecánicas, la ausencia de dolor o inflamación residual. Este enfoque exige más de los profesionales que lo aplican, pero proporciona una base mucho más sólida para la toma de decisiones y reduce significativamente el riesgo de retornos prematuros al deporte (Jiménez-Rubio et al., 2025; Hewett et al., 2017; Watson et al., 2025).

La presente revisión sistemática se enmarca precisamente en esta perspectiva: su objetivo no es ofrecer un protocolo cerrado de readaptación, sino sintetizar la evidencia científica disponible sobre las estrategias de entrenamiento de fuerza más efectivas a lo largo del proceso completo de readaptación de LCA, proporcionando a los profesionales de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte los fundamentos necesarios para tomar decisiones informadas, individualizadas y coherentes con el estado actual del conocimiento científico.

CONCLUSIONES

El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia científica disponible sobre el entrenamiento de fuerza como eje de la readaptación de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA), prestando atención a su relación con la recuperación funcional, el control neuromuscular, la biomecánica del movimiento y el retorno al deporte. A partir de los 13 estudios incluidos, los resultados permiten afirmar que la readaptación de LCA no puede entenderse como un proceso basado únicamente en el paso del tiempo, sino como una intervención progresiva, individualizada y guiada por criterios objetivos.

La principal idea que se desprende de esta revisión es que el entrenamiento de fuerza resulta imprescindible, pero no suficiente por sí solo. La recuperación de la fuerza del cuádriceps, los isquiotibiales y la musculatura de la cadera es necesaria para devolver estabilidad dinámica a la rodilla y reducir asimetrías entre miembros. Sin embargo, los estudios analizados muestran que esta fuerza debe transferirse a gestos funcionales como saltar, aterrizar, frenar o cambiar de dirección. Por ello, los programas más completos son aquellos que integran fuerza, control motor, propiocepción, técnica de movimiento y progresión hasta tareas específicas del deporte.

En relación con el primer objetivo específico, centrado en los tipos de ejercicios de fuerza, los resultados apoyan la combinación progresiva de ejercicios en cadena cinética cerrada y cadena cinética abierta. Los ejercicios en cadena cerrada, como sentadillas o prensa, parecen especialmente útiles en fases iniciales por su carácter funcional y por la mayor coactivación muscular que generan. No obstante, los ejercicios en cadena abierta, como la extensión de rodilla, también pueden ser necesarios para recuperar de forma específica el déficit de fuerza del cuádriceps, siempre que se introduzcan con una carga y un rango de movimiento adecuados. Esta conclusión coincide con Pamboris et al. (2024), cuyo metaanálisis mostró que la combinación progresiva de CCA y CCC produjo mejoras significativas en la fuerza del cuádriceps y en la función de la rodilla frente al uso exclusivo de cadena cinética cerrada.

Los hallazgos de Jiménez-Rubio et al., (2025) refuerzan esta idea al mostrar que, doce meses después de la cirugía, el índice de simetría entre miembros puede

situarse todavía por debajo del 90%, umbral clínico de seguridad para el retorno al deporte, y que un programa específico de fuerza y pliometría consiguió elevarlo hasta el 91% de forma estadísticamente significativa, con mejoras en el CMJ del 16,3% y en el Single Leg Hop del 14,7%.

Respecto al segundo objetivo específico, relacionado con el entrenamiento neuromuscular y propioceptivo, los estudios incluidos coinciden en que la lesión de LCA no solo afecta a una estructura mecánica, sino también al sistema de control sensoriomotor de la rodilla. Por este motivo, el trabajo de equilibrio, las perturbaciones controladas, la inestabilidad y las tareas de reacción deben ocupar un lugar relevante dentro de la readaptación. Bulow et al., (2021) observaron mejoras del 12,4% en el equilibrio dinámico tras un programa perturbacional en adolescentes femeninas con diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo control, mientras que Zemková (2017) destacó el valor del entrenamiento en inestabilidad como complemento del trabajo de fuerza. Estos resultados sugieren que el objetivo no debe ser únicamente fortalecer la musculatura, sino recuperar la capacidad del deportista para responder de forma estable ante situaciones imprevisibles.

La biomecánica del movimiento constituye otro punto clave de la discusión. Los trabajos de Dos'Santos et al., (2019), Nagelli et al., (2020), Boey et al., (2025) y Watson et al., (2025) muestran que la reducción del riesgo de recaída depende en gran medida de cómo se ejecutan los gestos deportivos. Variables como el valgo dinámico de rodilla, el control de cadera, la posición del tronco, la absorción de fuerzas en los aterrizajes y la técnica en los cambios de dirección deben ser evaluadas y entrenadas. Desde esta perspectiva, una rodilla fuerte no siempre es una rodilla segura si el patrón de movimiento continúa siendo deficiente.

En cuanto al tercer objetivo, referido a los criterios biomecánicos y neuromusculares que deben guiar la progresión, la evidencia revisada respalda el uso de modelos basados en criterios y no únicamente en plazos temporales. Tradicionalmente, muchas readaptaciones se han organizado en función de los meses transcurridos desde la cirugía, pero esta revisión muestra que el tiempo por sí solo no garantiza una recuperación suficiente. Hewett et al. (2017) señalan que los programas individualizados lograron reducciones del 23% en las

variables de riesgo biomecánico frente al 9% de los protocolos genéricos, lo que refuerza la necesidad de evaluar antes de progresar.

Esta idea también se relaciona con los plateaus funcionales descritos por Ram Kumar et al. (2026). Estos estancamientos pueden aparecer cuando persisten déficits de fuerza, miedo al movimiento o falta de adaptación del programa a las necesidades del deportista. Por tanto, la readaptación debe entenderse como un proceso dinámico, en el que el profesional debe revisar continuamente la evolución mediante test de fuerza, pruebas de salto, análisis de movimiento, valoración del dolor y cuestionarios relacionados con la confianza o la quinesofobia. El retorno al deporte debería apoyarse en una combinación de criterios físicos, biomecánicos y psicológicos.

El cuarto objetivo hacía referencia a las diferencias según edad, sexo y nivel deportivo. La literatura analizada indica que no todos los sujetos responden igual ni necesitan el mismo enfoque. En adolescentes, especialmente en chicas deportistas, la intervención debe tener en cuenta aspectos madurativos, psicológicos y de adherencia, tal como plantean Lang et al. (2017) y Bulow et al. (2021). En deportistas de deportes colectivos, las demandas de salto, frenada, contacto y cambio de dirección obligan a avanzar hacia tareas muy específicas. En cambio, en población físicamente activa no competitiva, los objetivos pueden centrarse más en recuperar la funcionalidad diaria, la confianza y la ausencia de dolor. Esto confirma que no existe un protocolo universal válido para todos los casos.

Cabe señalar, no obstante, que esta revisión no ha podido evidenciar de forma directa una mayor prevalencia de lesión del LCA en mujeres respecto a los hombres, dado que ninguno de los 13 estudios incluidos presentó datos comparativos de incidencia por sexo como variable principal de análisis. Aunque la literatura previa ha documentado ampliamente esta diferencia — con estimaciones de entre dos y ocho veces más riesgo en mujeres según factores anatómicos, hormonales y neuromusculares (Hewett et al., 2017) —, los estudios seleccionados se centraron en la efectividad de las intervenciones de entrenamiento y no en la epidemiología de la lesión. Esta limitación debe tenerse en cuenta y refuerza la necesidad de incluir análisis comparativos por sexo en futuras investigaciones sobre readaptación del LCA.

Esta revisión presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, los estudios incluidos son heterogéneos en cuanto a diseño, población, fase de recuperación, tipo de intervención y variables analizadas. Esta diversidad permite obtener una visión amplia del proceso de readaptación, pero dificulta establecer conclusiones cerradas sobre la dosis óptima de entrenamiento, la frecuencia semanal ideal o la duración exacta de cada fase.

En segundo lugar, no todos los trabajos presentan el mismo nivel de evidencia. Junto a ensayos clínicos y revisiones sistemáticas, se han incluido revisiones narrativas, estudios de intervención, estudios de caso y guías prácticas. Estos trabajos aportan una perspectiva aplicada útil, pero sus conclusiones deben interpretarse con cautela. Además, algunas variables relevantes, como la dimensión psicológica, el seguimiento a largo plazo o la tasa real de recaída lesional tras el retorno deportivo, aparecen poco desarrolladas en parte de la literatura analizada.

Desde una perspectiva profesional, los resultados de esta revisión tienen una aplicación directa para los graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. El entrenamiento de fuerza debe planificarse de forma progresiva y evaluable, combinando ejercicios generales y específicos según la fase de recuperación. A su vez, debe acompañarse de trabajo neuromuscular, propioceptivo y técnico para mejorar la calidad del movimiento. La toma de decisiones no debería basarse solo en protocolos temporales, sino en pruebas objetivas que permitan determinar si el deportista está preparado para avanzar o retornar al deporte.

De cara a futuras investigaciones, sería conveniente realizar estudios con muestras más amplias, diseños comparables y seguimientos más prolongados. También sería necesario profundizar en la relación entre la recuperación de la fuerza, la mejora biomecánica, la confianza psicológica y la reducción real de recaídas. En definitiva, la evidencia disponible permite concluir que la readaptación del LCA debe ser un proceso activo, individualizado y multifactorial. El entrenamiento de fuerza constituye su base principal, pero su eficacia aumenta cuando se integra dentro de un programa global que contemple las

demandas reales del movimiento y las características concretas de cada persona.

DISCUSIÓN

El entrenamiento de fuerza constituye un pilar fundamental en la readaptación de lesiones del ligamento cruzado anterior, ya que contribuye a recuperar la función muscular, mejorar la estabilidad dinámica de la rodilla y reducir las asimetrías que pueden aumentar el riesgo de recaída. Sin embargo, la evidencia revisada muestra que su eficacia es mayor cuando se integra dentro de un programa global que incluya entrenamiento neuromuscular, propiocepción, control biomecánico, progresión de la carga y criterios objetivos para el retorno al deporte.

En primer lugar, los ejercicios en cadena cinética cerrada y cadena cinética abierta no deben entenderse como opciones excluyentes. La combinación progresiva de ambas modalidades, ajustada a la fase de recuperación y a la tolerancia del sujeto, parece ser la estrategia más adecuada para recuperar la fuerza del miembro inferior, especialmente del cuádriceps, sin comprometer la seguridad del proceso.

En segundo lugar, el entrenamiento neuromuscular y propioceptivo es necesario para mejorar el equilibrio dinámico, la estabilidad articular y la capacidad de respuesta ante situaciones imprevisibles. Este tipo de trabajo resulta especialmente relevante en deportes que implican saltos, aterrizajes, cambios de dirección y desaceleraciones, donde la rodilla se expone a demandas elevadas.

En tercer lugar, la progresión entre fases y el retorno al deporte deben basarse en criterios funcionales y no únicamente en el tiempo transcurrido desde la cirugía o la lesión. La fuerza, la simetría entre extremidades, la calidad del movimiento, la ausencia de dolor o inflamación y la confianza del deportista deben valorarse antes de tomar decisiones relevantes.

En cuarto lugar, la readaptación debe individualizarse según las características de cada persona. La edad, el sexo, el nivel deportivo, el tipo de deporte practicado, la fase de recuperación y los objetivos personales condicionan la selección de ejercicios, la progresión de las cargas y los criterios de éxito del programa.

Por último, la literatura actual todavía presenta limitaciones metodológicas importantes, especialmente en relación con la heterogeneidad de los estudios, la falta de seguimientos prolongados y la escasa medición sistemática de variables psicológicas. Por ello, futuras investigaciones deberían centrarse en establecer criterios más precisos de progresión, analizar la dosis óptima de entrenamiento y comprobar si las mejoras funcionales obtenidas se traducen en una menor tasa de recaída a largo plazo.

Como aplicación práctica, este trabajo permite orientar la intervención de los profesionales de la actividad física hacia una readaptación del LCA más segura, evaluable y completa, cuyo objetivo final no sea únicamente volver a practicar deporte, sino hacerlo con garantías físicas, biomecánicas y psicológicas suficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boey, D., Joseph, R., & Lee, M. (2025). Is the frequency of a targeted neuromuscular training program a factor in modifying knee joint loading during typical netball landing tasks? *Journal of Sports Rehabilitation*, 17(5), 1091–1100. <https://doi.org/10.1177/19417381241283819>
- Bulow, A., Anderson, J. E., Leiter, J. R. S., MacDonald, P. B., & Peeler, J. D. (2021). Safety and effectiveness of a perturbation-based neuromuscular training program on dynamic balance in adolescent females: A randomized controlled trial. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(4), 1021-1032 <https://doi.org/10.26603/001c.25685>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019). The effect of training interventions on change of direction biomechanics associated with increased anterior cruciate ligament loading: A scoping review. *Sports Medicine*, 49(12), 1837–1859. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01171-0>
- Franco, D., Ambrosio, L., Za, P., Maltese, G., Russo, F., Vadalà, G., Papalia, R., & Denaro, V. (2024). Effective prevention and rehabilitation strategies to mitigate non-contact anterior cruciate ligament injuries: A narrative review. *Applied Sciences*, 14(3), 1456. <https://doi.org/10.3390/app14209330>
- Hewett, T. E., Ford, K. R., Xu, Y. Y., Khoury, J., & Myer, G. D. (2017). Effectiveness of neuromuscular training based on the neuromuscular risk profile. *American Journal of Sports Medicine*, 45(9), 2142–2147. <https://doi.org/10.1177/0363546517700128>
- Jiménez-Rubio, S., García-Calvo, T., Martínez-Aranda, L. M., & Raya-González, J. (2025). A specific reconditioning training program implemented 12 months after ACL surgery improves lower-limb jump variables in amateur soccer players. *Frontiers in Physiology*, 16, 1630156. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1630156>
- Lang, P. J., Sugimoto, D., & Micheli, L. J. (2017). Prevention, treatment, and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 8, 133–141. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S133940>
- Lucas, K., Todd, P., & Ness, B. M. (2021). A multi-systems approach to human movement after ACL reconstruction: The integumentary system. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(5), 1300-1308. <https://doi.org/10.26603/001c.29454>
- Nagelli, C., Di Stasi, S., Tatarski, R., Chen, A., Wordeman, S., Hoffman, J., & Hewett, T. E. (2020). Neuromuscular training improves self-reported function and single-leg landing hip biomechanics in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(10), 2325967120959347. <https://doi.org/10.1177/2325967120959347>

- Pamboris, G. M., Pavlou, K., Paraskevopoulos, E., & Mohagheghi, A. A. (2024). Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: A systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1416690. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1416690>
- Ram Kumar, E. S., R. S., Khristi, J. J., Mathipriya, K., Nivetha, R., & Ubaithullah, A. B. (2026). ACL rehabilitation plateaus across athlete populations: Two case reports and a clinical framework for identifying functional stagnation. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 21(3), 291–302. <https://doi.org/10.26603/001c.156102>
- Watson, S. L., Pickens, A. T., Currie, W. G., Tjong, V. K., & Jarema, R. (2025). ACL injury risk reduction: Demonstration of key exercises. *Video Journal of Sports Medicine*, 5(6), 26350254251340071. <https://doi.org/10.1177/26350254251340071>
- Zemková, E. (2017). Instability resistance training for health and performance. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(2), 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.05.007>